



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑤① Int. Cl.⁶:
G 01 J 3/28

⑧7 EP 0 548 830 B1

⑩ DE 692 18 150 T 2

DE 692 18 150 T 2

②① Deutsches Aktenzeichen:	692 18 150.4
⑧6 Europäisches Aktenzeichen:	92 121 566.1
⑧6 Europäischer Anmeldetag:	18. 12. 92
⑧7 Erstveröffentlichung durch das EPA:	30. 6. 93
⑧7 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	12. 3. 97
④7 Veröffentlichungstag im Patentblatt:	19. 6. 97

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①
20.12.91 US 812508

⑦③ Patentinhaber:
Texas Instruments Inc., Dallas, Tex., US

⑦④ Vertreter:
Prinz und Kollegen, 81241 München

⑧④ Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB, IT, NL

⑦② Erfinder:
Stafford, Ronald E., Wylie, Texas 75098, US

⑥④ Spektrometer mit räumlichen Lichtmodulator

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 692 18 150 T 2

EP 0 548 830 (92121566.1-2213)

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Diese Erfindung betrifft ein Spektrometer des Typs gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein Verfahren zum Analysieren von Licht gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 11.

In US-A-4 193 691 ist ein Spektrometer des erwähnten Typs offenbart. Dieses Spektrometer enthält einen aus einer Flüssigkeitsspalt-Baugruppe bestehenden räumlichen Lichtmodulator.

Spektrometer arbeiten unter Verwendung des Prinzips der Zerlegung von Licht, die auftritt, wenn Lichtstrahlen typischerweise durch ein Beugungsgitter oder bei der Brechung durch ein Prisma abgelenkt werden. Beugungsgitter verhalten sich optisch wie zahlreiche sehr schmale Einzelspalte, die bewirken, daß Lichtstrahlen unter von der Wellenlänge dieser Strahlen abhängigen Winkeln abgelenkt werden. Prismen bewirken eine Zerlegung des Lichts, da der Ablenkwinkel eines Lichtstrahls beim Hindurchtreten durch ein Prisma eine Funktion seiner Wellenlänge ist; diese wellenlängenabhängige Winkelablenkung tritt dadurch auf, daß optische Materialien für unterschiedliche Wellenlängen unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen. Spektrometersysteme, bei denen ein Prisma als Zerlegungselement verwendet wird, weisen gegenüber jenen, bei denen ein Zerlegungselement vom Beugungsgittertyp verwendet wird, natürliche Vorteile auf, da sie hinsichtlich der Lichttransmission wirksamer sind und durch Streulicht weniger gestört werden. Dementsprechend werden bei vielen bestehenden Spektrometerkonstruktionen Zerlegungselemente vom Prismentyp verwendet.

Bei bestehenden Spektrometern wird das durch einen Schlitz hindurchgelassene Licht unter Verwendung eines Beugungsgitters oder Prismas zerlegt. Das zerlegte Licht wird

- 2 -

daraufhin auf eine Erfassungsbrennebene abgebildet, die typischerweise eine Matrix winziger photoempfindlicher Elemente aufweist.

Die meisten Spektrometer enthalten einen Kollimator, um alle auf das Gitter oder Prisma fallenden Lichtstrahlen parallel zu machen. Eine Kollimation ist erforderlich, um Aberrationen zu regeln, die auftreten, wenn nichtkollimiertes Licht durch das Zerlegungselement hindurchtritt. Gegenwärtige Spektrometer sind jedoch vergleichsweise sperrige Instrumente, da die Wege der optischen Strahlen dazu neigen, recht lang zu sein. Weiterhin ist bei gegenwärtigen Spektrometern eine mechanische Bewegung und ein Drehen des Zerlegungselements erforderlich, um die Wellenlängen über die Detektoren zu tasten. Diese mechanischen Bewegungen bewirken Schwingungen und führen zu einer Abnutzung, die zu Problemen bei der Justierung und/oder der Kalibrierung führen können.

Diese und andere im Stand der Technik auftretenden Einschränkungen und Nachteile werden durch die vorliegende Erfindung überwunden. Es wird ein SLM-Spektrometer zum Messen der zu verschiedenen Wellenlängen in einem Spektrum gehörigen Energiemenge vorgesehen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein SLM-Spektrometer vorgesehen. Insbesondere wird beim Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung ein Eintrittsspalt und/oder ein Kollimator verwendet, um parallele Strahlen einer Strahlung zu einem Prisma, einem Gitter oder einem anderen Typ eines Elements zur Wellenlängenzerlegung zu übertragen, das die darauf fallende Strahlung in ein Wellenlängenspektrum mit verschiedenen Ordnungen zerlegt. Ein sich aus dem bevorzugten Prisma (oder einem anderen Zerlegungselement) ergebendes Spektrum wird auf einen räumlichen Lichtmodulator (SLM) einfallen gelassen. Gemäß dieser Erfindung ist der räumliche Lichtmodulator eine Vorrichtung mit verformbaren Spiegeln (DMD).

- 3 -

Es ist durch wahlweises Aktivieren eines kleinen Teils des SLMs möglich, gezielt einen Teil des auf den SLM fallenden Spektrums zu einer Fokussierungsvorrichtung zu reflektieren oder zu dieser durchzulassen, welche vorzugsweise ein parabolischer Fokussierungsspiegel ist. Es können auch andere Typen von Fokussierungsvorrichtungen, wie ein anderer Spiegeltyp, eine Linse oder ein Linsensystem, verwendet werden. Die Fokussierungsvorrichtung fokussiert wiederum den durch den aktivierten Teil der SLM-Oberfläche reflektierten oder durchgelassenen Teil des Spektrums auf ein Meßgerät oder einen Detektor. Statt dessen kann die Fokussierungsvorrichtung den durch einen deaktivierten Teil der SLM-Oberfläche reflektierten oder durchgelassenen Teil des Spektrums auf ein Meßgerät oder einen Detektor fokussieren. Weiterhin können der SLM und die Fokussierungsvorrichtung für manche Ausführungsformen zu einer Vorrichtung kombiniert sein.

Das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung kann verwendet werden, um sichtbares Licht sowie Licht, das sich in der Nähe des sichtbaren, beispielsweise im Bereich des nahen Infrarots oder des nahen Ultravioletts befindet, zu analysieren. Das Ausgangssignal des Meßgeräts oder Detektors kann geeignet verstärkt werden und nach einer geeigneten Kalibrierung (unter Verwendung einer bekannten Wellenlänge mit einer bekannten Intensität) verwendet werden, um die Energiemenge bei einer bestimmten Wellenlänge oder in einem bestimmten Wellenlängenbereich zu bestimmen. Die durch den Detektor gemessene bestimmte Wellenlänge (oder das durch den Detektor gemessene Wellenlängenband) ist eine Funktion der Wellenlängen im Spektrum des bevorzugten Prismen-Zerlegungselements, die auf den "aktivierten" (oder "deaktivierten") Oberflächenbereich des SLMs fallen. Auf diese Weise wird beim SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung die gesamte bei herkömmlichen Spektrometern, bei denen sich drehende Prismen oder sich drehende Gitter verwendet werden, bei denen also das Prisma oder das Gitter gedreht werden muß, um die durch den Detektor gemessene Wellenlänge (gemessenen Wellenlängen) auszuwählen, erforderliche mechanische Bewegung beseitigt.

- 4 -

Ein Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein SLM-Spektrometer zu schaffen.

Ein Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Spektrometer zu schaffen, das keine mechanische Gesamtbewegung der die Strahlung zerlegenden Elemente benötigt, sobald die Zerlegungselemente bezüglich der Strahlungswege festgelegt sind.

Dementsprechend werden diese und andere Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung aus der folgenden detaillierten Beschreibung ersichtlich, bei der auf die Figuren in der begleitenden Zeichnung Bezug genommen wird.

ZEICHNUNG

In Figur 1 ist ein Funktionsblockdiagramm von Bestandteilen eines SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt.

In Figur 2 ist eine allgemeine Anordnung von Bestandteilen eines SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt.

In Figur 3 ist eine andere allgemeine Anordnung von Bestandteilen eines SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt.

In Figur 4 ist eine allgemeine Anordnung der Bestandteile eines SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt, die für eine Transmissionsanalyse einer Probe angeordnet sind.

In Figur 5 ist eine allgemeine Anordnung der Bestandteile eines SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt, die für eine Reflexionsanalyse einer Probe angeordnet sind.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

In Figur 1 ist ein vereinfachtes Funktionsblockdiagramm von Bestandteilen eines SLM-Spektrometers 5 gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt. Insbesondere ist ein Kollimator 10 dargestellt, der eine zu analysierende Strahlung 12 in einen auf ein Zerlegungselement 16 fallenden parallelen

- 5 -

Strahl 14 überführt. Das Zerlegungselement 16 zerlegt den parallelen Strahl 14 in ein zerlegtes, lineares Wellenlängenspektrum 18 mit verschiedenen Ordnungen. Vorzugsweise wird eine Ordnung zur Analyse ausgewählt, die nicht mit anderen Ordnungen überlagert ist. Je höher die Ordnung ist, desto stärker wird das Spektrum zerlegt. Ein räumlicher Lichtmodulator (SLM) 20 ist so angeordnet, daß seine aktive Fläche 21 wenigstens einen Teil der ausgewählten Ordnung des Wellenlängenspektrums empfängt. Wenngleich der SLM 20 ein reflektierender SLM ist, kann er auch ein transmissiver oder reflektierender Vorrichtungstyp sein. Die aktive Fläche 21 des SLMs 20 weist eine Matrix von Zellen auf, die wahlweise und einzeln aktiviert werden können, und die Matrix kann linear oder flächenhaft ausgebildet sein; diese Zellen auf dem SLM 20 können sehr klein sein. Der SLM gemäß der vorliegenden Erfindung kann beispielsweise eine Vorrichtung mit verformbaren Spiegeln (DMD), eine Flüssigkristallvorrichtung (LCD) oder ein magnetooptischer Modulator sein, ist jedoch nicht auf diese beschränkt, und es kann bei ihm eine lineare oder flächenhafte Matrix dieser Vorrichtungstypen verwendet werden.

Die aktivierte Zelle (oder die aktivierten Zellen) des SLMs 20 läßt (lassen) diesen Teil 22 des auf sie fallenden Wellenlängenspektrums 18 durch oder reflektiert (reflektieren) ihn. Bei einer Alternative läßt eine deaktivierte Zelle (oder lassen deaktivierte Zellen) des SLMs 20 diesen Teil 22 des auf sie fallenden Wellenlängenspektrums 18 durch oder reflektiert (reflektieren) ihn. Dieser ausgewählte Wellenlängenteil 22 wird daraufhin durch eine Fokussierungsvorrichtung 24 auf eine Brennebene 26 fokussiert. Ein Detektor 28 ist in der Brennebene 26 angeordnet und empfängt die ausgewählte Strahlung 29. Sobald sie bezüglich dieser Strahlungswege justiert wurden, können diese Bestandteile in diesen Positionen festgelegt werden.

Das Signal aus dem Detektor 28 kann in geeigneter Weise durch einen Verstärker 30 verstärkt und als ein Ausgangssignal 32 bereitgestellt werden oder vorzugsweise als ein Eingangssignal für eine Verarbeitungseinrichtung (die ein

- 6 -

Mikroprozessor sein kann) 34 bereitgestellt werden. Diese Verarbeitungseinrichtung 34 kann wiederum steuern oder auswählen, welche Zellen des SLMs aktiviert (oder deaktiviert) werden, und kann dementsprechend die ausgewählte Wellenlänge mit dem erfaßten Signal kombinieren, um ein die Intensität gegenüber der Wellenlänge wiedergebendes Spektrum als Ausgabe 32 bereitzustellen. Die Verarbeitungseinrichtung enthält vorzugsweise geeignete Programme zum Steuern des SLMs und zum Erzeugen ausgewählter Ausgaben. Die Verarbeitungseinrichtung 32 kann weiterhin Programme zum Analysieren und/oder Regeln der Signale aus dem Detektor enthalten.

Wie in Fig. 2 dargestellt ist, wird bei einer Ausführungsform des SLM-Spektrometers der vorliegenden Erfindung vorzugsweise ein Eintrittsspalt 40 verwendet, hinter dem sich eine geeignete Kollimationslinse oder ein geeignetes Linsensystem 42 befindet, um zu gewährleisten, daß die durch das Zerlegungselement 44 hindurchlaufenden Strahlen der zu analysierenden Strahlung in parallele Strahlen überführt werden, bevor sie auf das Zerlegungselement 44 fallen. Wenngleich in Figur 2 sowohl ein Spalt 40 als auch ein Kollimator 42 dargestellt sind, kann jeder von beiden ohne den anderen verwendet werden.

Es ist weiterhin ersichtlich, daß in einem SLM-Spektrometer 6 gemäß der vorliegenden Erfindung vorzugsweise ein herkömmliches Prisma als Zerlegungselement 44 verwendet wird, um den einfallenden parallelen Strahl in ein zerlegtes lineares Wellenlängenspektrum mit verschiedenen Ordnungen zu zerlegen, wobei die Wellenlänge durch die Position innerhalb des linearen Bereichs der spektralen Ausgabe des Prismas bestimmt ist. Weiterhin kann die Zerlegungskraft des Prismas auf der Grundlage der beabsichtigten Verwendung des Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung ausgewählt werden. Wenn eine höhere Auflösung benötigt wird, kann genauer gesagt ein Prisma mit einem höheren Brechungsindex verwendet werden und der Abstand zwischen dem Prisma und dem SLM 46 erhöht werden, um ein gegenständlich vergrößertes Wellenlängenspektrum am SLM 46 bereitzustellen, und/oder es kann eine höhere Ordnung

- 7 -

verwendet werden. Weiterhin können für solche vergrößerten Wellenlängenspektren auch mehrere SLMs geeignet angeordnet und als ein "erweiterter" SLM verwendet werden. Es kann auch eine andere Zerlegungseinrichtung 44 verwendet werden, die beispielsweise aus einem Reflexions- oder Transmissionsgitter besteht, jedoch nicht auf diese beschränkt ist. Es wird dafür gesorgt, daß das zerlegte Wellenlängenspektrum aus dem Prisma auf einen räumlichen Lichtmodulator (SLM) 46 fällt, der vorzugsweise eine Vorrichtung mit verformbaren Spiegeln (DMD) ist.

Eine DMD kann aus einer linearen oder flächenhaften Matrix aus Mikrospiegeln bestehen, die wahlweise aktiviert werden können, um sich zu vorgewählten Winkeln zu drehen. Im am 29. Oktober 1991 erteilten und auf Texas Instruments Incorporated übertragenen US-Patent 5 061 049 sind einige Beispiele von DMDs, wie beispielsweise die Torsionsträger-DMD, beschrieben, und es sei hiermit darauf verwiesen. Im allgemeinen können Torsionsträger-DMD-Vorrichtungen einen Zustand, bei dem keine Spannung angelegt ist, oder Ruhezustand, einen positiven Ablenkwinkel (der sich aus dem Anlegen einer positiven Spannung ergibt) und einen negativen Ablenkwinkel (der sich aus dem Anlegen einer negativen Spannung ergibt) aufweisen. Andere DMD-Spiegel können derart ausgeführt sein, daß der ausgewählte Spiegel (oder die ausgewählten Spiegel) unter einem veränderlichen und vorgewählten Winkel positioniert werden können, der auf einer an den Spiegel angelegten veränderlichen und vorgewählten Spannung beruht. Andere Typen von SLM-Vorrichtungen 46 können anstelle einer DMD im SLM-Spektrometer 6 gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden.

Das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung kann verwendet werden, um sichtbares Licht sowie Licht, das sich in der Nähe des Sichtbaren, beispielsweise im Bereich des nahen Infrarots oder des nahen Ultravioletts, befindet, zu analysieren. Das Ausgangssignal des Meßgeräts oder Detektors kann geeignet verstärkt werden und nach einer geeigneten Kalibrierung (unter Verwendung einer bekannten Wellenlänge mit einer bekannten Intensität) verwendet werden, um die Energie-

- 8 -

menge bei einer bestimmten Wellenlänge oder in einem bestimmten Wellenlängenband zu bestimmen. Die durch den Detektor gemessene bestimmte Wellenlänge (oder das durch den Detektor gemessene Wellenlängenband) ist eine Funktion der Wellenlängen im Spektrum des bevorzugten Prismen-Zerlegungselements, die auf den "aktivierten" (oder "deaktivierten") Oberflächenbereich des SLMs fallen. Auf diese Weise wird beim SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung die gesamte bei herkömmlichen Spektrometern, bei denen sich drehende Prismen oder sich drehende Gitter verwendet werden, bei denen also das Prisma oder das Gitter gedreht werden muß, um die durch den Detektor gemessene Wellenlänge (gemessenen Wellenlängen) auszuwählen, erforderliche mechanische Bewegung beseitigt.

Wie in Figur 3 dargestellt ist, kann ein anderer Typ eines im SLM-Spektrometer 7 gemäß der vorliegenden Erfindung verwendeten SLMs 90 eine lineare Matrix kleiner optischer Fasern 92 (Seite an Seite angebracht) sein, die so angeordnet sind, daß sie das zerlegte Spektrum an einem Ende (Eingang) empfangen und die jeweiligen getrennten Abschnitte des Spektrums am anderen Ende (Ausgang) zu einem Detektor 100 übertragen. Weiterhin weist jede optische Faser einen optischen Verschuß (oder Schalter) 93 zwischen dem Eingangs- und dem Ausgangsende auf. Die optischen Verschlüsse oder Schalter 93 sind normalerweise geschlossen, um jegliche Strahlung in ihrer jeweiligen optischen Faser 92 gegenüber dem Detektor 100 zu blockieren, und werden wahlweise geöffnet, um das auf die Fasermatrix fallende Spektrum zu analysieren. Nach den optischen Verschlüssen 93 werden die optischen Fasern verdreht und ausgerichtet, um die jeweils aus ihnen austretende Strahlung auf den Detektor 100 zu fokussieren. Eine Matrix kleiner Flüssigkristallvorrichtungen (LCDs) kann in einer parallelen Gruppe von Öffnungen in der Fasermatrix positioniert sein und kann als die optischen Verschlüsse verwendet werden. Die Absorptionswellenlänge (Absorptionswellenlängen) des verwendeten optischen Fasertyps muß (müssen) sich außerhalb der Wellenlängen der interessierenden Spektren befinden. Für diese

- 9 -

Ausführungsform sind der SLM und die Fokussierungsvorrichtung aus Figur 1 zu einer Vorrichtung kombiniert.

Der Abstand zwischen dem SLM 90 und dem Prisma 80 ist eine Funktion des Zerlegungswerts des Prismas (der Zerlegungskraft) und der flächenhaften Ausdehnung der aktiven Fläche des SLMs, wie der Größe der Spiegelmatrix auf einer DMD-Vorrichtung. Genauer gesagt sollte der Abstand derart sein, daß das ganze aus dem Prisma austretende zu analysierende Wellenlängenspektrum auf die aktive Fläche (oder die aktiven Flächen) der SLM-Vorrichtung (oder der SLM-Vorrichtungen) fällt. Wie vorhergehend bemerkt, können mehrere SLMs wie ein "erweiterter" SLM angeordnet und verwendet werden, um eine erhöhte Auflösung zu bieten. Eine typische Größe eines DMD-Spiegels beträgt etwa 12 Mikrometer mal 12 Mikrometer, wenn gleich auch andere Größen hergestellt und in der vorliegenden Erfindung verwendet werden können. Dementsprechend wird, abhängig von der Zerlegungskraft des Prismas und dem Abstand zwischen dem Prisma und dem SLM, ein relativ schmales Wellenlängenband auf jeden aktivierbaren Abschnitt der aktiven Flächen eines SLMs, wie beispielsweise eine Zeile von DMD-Spiegeln, fokussiert.

Auf diese Weise kann eine auf die optische Achse (des Prismas) ausgerichtete Zeile von DMD-Spiegeln wahlweise aktiviert (oder deaktiviert) werden, um zu bewirken, daß die auf die Spiegel fallende Strahlung unter einem Winkel, der ausreichend groß ist, um zu bewirken, daß das Licht zu einer Fokussierungsvorrichtung übertragen wird, die vorzugsweise ein parabolischer Fokussierungsspiegel ist, von den Spiegeln reflektiert wird. Andere Fokussierungsvorrichtungen, wie eine Linse, ein Linsensystem oder optische Fasern, können im SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden. Wieder können die Fokussierungsvorrichtung und der SLM kombiniert werden. Der parabolische Fokussierungsspiegel fokussiert wiederum die Strahlung von der aktivierten (oder deaktivierten) Fläche oder Zeile von Spiegeln auf ein Meßgerät oder einen Detektor. Dieser Detektor mißt wiederum die Intensität oder die Energiemenge bei dieser bestimmten Wellenlänge

oder in diesem bestimmten Wellenlängenband. Im SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung können jegliche herkömmlichen Spektrometerdetektoren verwendet werden. Ein verwendeter Detektor ist vorzugsweise über einen so breiten Wellenlängenbereich wie möglich so linear wie möglich, um ein breitbandiges Spektrometer bereitzustellen. Bekannte nichtlineare Abschnitte eines Detektors können jedoch durch nach der Erfassung arbeitende Programme ausgeglichen werden.

Es ist dementsprechend durch wahlweises Aktivieren (oder Deaktivieren) einer jeden Zellenreihe auf der Außenfläche des SLMs möglich, zu messen, ob bei bestimmten Wellenlängen, die den Wellenlängen entsprechen, die auf die Zellenmatrix treffen, Energie auftritt. Es ist auf diese Weise möglich, ein Spektrum der Wellenlängen und der mit diesen Wellenlängen verbundenen Energie zu erzeugen. Das SLM gemäß der vorliegenden Erfindung kann beispielsweise wiederum eine Vorrichtung mit verformbaren Spiegeln (DMD), eine Flüssigkristallvorrichtung (LCD) oder ein magnetooptischer Modulator sein, ist jedoch nicht auf diese eingeschränkt, und es kann eine lineare oder eine flächenhafte Matrix dieser Vorrichtungstypen verwendet werden.

Die DMD ist hierfür wegen der sehr geringen Größe der DMD-Spiegel in einzigartiger Weise geeignet. Es ist möglich, einen sehr kleinen Teil des Strahlungsspektrums für eine Intensitätsmessung durch den Detektor auszuwählen. Gegenwärtig erhältliche DMDs weisen Matrizen von wenigstens 512 mal 512 Mikrospiegeln auf. Das Wellenlängenspektrum kann auf diese Weise in wenigstens 512 "Wellenlängenbänder" eingeteilt werden. Weiterhin ist eine lineare DMD mit etwa 8,9 cm (3,5 Zoll) einnehmenden aktiven Spiegeln ebenfalls im Handel erhältlich. Durch Erhöhen oder Verringern der "Anzahl" der aktiven Flächenbereiche auf einem SLM (für ein gegebenes Wellenlängenspektrum und einen gegebenen Abstand) ist es möglich, die Auflösung des Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung zu erhöhen oder zu verringern. Die Auflösung kann auf diese Weise leicht für spezielle Anwendungen oder Verwendungen des Spektrometers ausgewählt werden.

- 11 -

Wie jedoch vorhergehend erwähnt wurde, ist es auch möglich, die Wellenlängenauflösung des Spektrometers durch geeignetes Auswählen der Zerlegungskraft des Zerlegungselements und des Abstands zwischen dem Zerlegungselement und dem SLM auszuwählen. Zur Erhöhung der Auflösung können weiterhin höhere spektrale Ordnungen des Zerlegungselements als zum SLM übertragene Strahlungsspektren verwendet werden. Nachdem die Verwendung des Spektrometers (d. h., der gewünschte Wellenlängenbereich und die gewünschte Auflösung) bekannt ist, kann eine geeignete Auswahl dieser Variablen vorgenommen werden.

Es wird gemäß der vorliegenden Erfindung weiter erwogen, die Aktivierung (oder die Deaktivierung) jeder der Spiegelzeilen mit einem Mikroprozessor (oder einer Verarbeitungseinrichtung) zu koppeln und das Ausgangssignal des Meßgeräts und/oder des Detektors zu digitalisieren (vorzugsweise nach der Verstärkung) und zum Mikroprozessor zu übertragen. Auf diese Weise wird ein digitales Spektrometer bereitgestellt, bei dem der Mikroprozessor das Energieniveau bei den verschiedenen Wellenlängen steuert und analysiert und als Ausgabe ein Wellenlängenspektrum liefert, das dem durch den Detektor gemessenen entspricht. Der Mikroprozessor kann den Detektor auch, abhängig von der Intensität der Strahlung, für einen festen aber einstellbaren Zeitraum der gewünschten Wellenlänge aussetzen, um ein geeignetes Signal-Rausch-Verhältnis zu liefern.

Bei bestehenden gewerblichen und im Labor verwendeten Spektrometern wird ein relativ großer sich drehender Spiegel (der mechanisch schwingt) verwendet, um die spektralen Wellenlängen über das Meßgerät streichen zu lassen. Die Vorrichtung mit verformbaren Spiegeln, wie der bevorzugte SLM der vorliegenden Erfindung, wählt die Wellenlänge oder das Wellenlängenband, die oder das dem Meßfühler darzubieten ist, mit einem sehr kleinen Spiegel aus. Auf diese Weise ist beim SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung keine mechanische Bewegung des Zerlegungselements erforderlich, um die durch den Detektor abzutastende Frequenz auszuwählen. Insbe-

- 12 -

sondere weist das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung nur die elektrische oder mechanische Bewegung der aktivierten oder (deaktivierten) Fläche oder Zelle des SLMs auf, welche vorzugsweise durch die Mikrospiegel auf der DMD gegeben ist. Das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung benötigt auf diese Weise keine motorgetriebenen Spiegel oder Prismen mit Lagerflächen, die sich abnutzen und die Kalibrierung des Spektrometers ändern. Weiterhin ist das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung nicht gegenüber solchen mechanischen Schwingungen empfindlich, da das Zerlegungselement und der SLM feststehend sind. Dementsprechend ist das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung empfindlicher (es weist also eine höhere Auflösung auf) und robuster als herkömmliche Spektrometer, bei denen motorgetriebene sich drehende Spiegel, Prismen oder Gitter verwendet werden.

Weiterhin wird die Kalibrierung des SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung durch eine feste Justierung der verschiedenen Bestandteile ausgeführt. Bei anderen Spektrometern ist es erforderlich, daß bewegliche Teile zeitlich gesteuert und/oder nachgeführt werden, um zu wissen, welche Wellenlänge (oder Frequenz) gemessen wird. Beim SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung ist keine auf einer solchen Synchronisationsschaltung beruhende periodische Justierung des Spektrometers erforderlich. Es weist weiterhin die Fähigkeit auf, daß seine Einstellungen "verriegelt" werden, um jegliche Möglichkeiten einer Fehljustierung infolge von Schwingungen zu verringern. Weiterhin ist es nicht erforderlich, daß das Spektrometer infolge der Abnutzung beweglicher Teile erneut kalibriert werden muß. D. h., daß das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung kalibriert, in der Verwendungsposition verriegelt und eingeschlossen werden kann.

Wie in der Technik bekannt ist, können verschiedene Materialien durch die Frequenzen des sichtbaren und sich in der Nähe des sichtbaren befindenden Lichts, welches sie absorbieren, identifiziert werden. Die Zusammensetzung komple-

xer Materialien kann durch Vergleichen der Spektren bekannter Proben mit den Spektren unbekannter Proben vorhergesagt werden. Durch Verwenden eines Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung, das sichtbares und sich in der Nähe des sichtbaren befindendes Licht messen kann, kann eine zerstörungsfreie Analyse der Zusammensetzung von Materialien durchgeführt werden.

Die Daten aus einem digitalen Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung können von einem Prozeßrechner als Eingabe verwendet werden, und die Zusammensetzung des Materials kann auf der Grundlage dieser Eingabe vorhergesagt und gesteuert werden.

Spektrum-Analysatoren, bei denen die Gedanken der vorliegenden Erfindung verwendet werden, können für jeden Frequenzbereich verwirklicht werden, der durch die ausgewählte SLM-Vorrichtung reflektiert oder durchgelassen wird und für den ein geeignetes Meßgerät verwendet werden kann.

Weiterhin können bei nach der Erfassung arbeitenden Programmen in einer dem Spektrometer zugeordneten Verarbeitungseinrichtung oder in einer getrennten Verarbeitungseinrichtung spezielle Programme verwendet werden, um die von der Wellenlänge abhängigen erfaßten Intensitäten zu analysieren. Diese Programme können sogenannte Hadamard-Programme sein, die den Wellenlängengehalt verschiedener Halb-Intensitätsmessungen bestimmen. D. h., daß die Hälfte des SLMs "aktiviert" ist und Strahlung zum Detektor überträgt und daraufhin die andere Hälfte aktiviert wird. Daraufhin werden Kombinationen von zwei Vierteln aktiviert und daraufhin Kombinationen von vier Achteln usw. Weiterhin können Programme verwendet werden, um ein bekanntes nichtlineares Ansprechen des Detektors auszugleichen.

Das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung kann als ein Kolorimeter mit einer Verarbeitungseinrichtung und nach der Erfassung arbeitenden Programmen oder ohne diese verwendet werden. Kolorimeter werden verwendet, um die Farbe von Nahrungsmittelerzeugnissen zu überwachen und für den Verbraucher eine gleichmäßige Farbe zu gewährleisten. Nach der

- 14 -

Erfassung arbeitende Programme können auch verwendet werden, um irgendwelche erfaßten Spektren in Spektren umzuwandeln, die denen entsprechen, die mit dem menschlichen Auge wahrgenommen werden.

Ein Infrarot-SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung kann insbesondere zur Erfassung des Wassergehalts in verschiedenen Substanzen oder Verbindungen nützlich sein. Es kann für IR-Anwendungen erforderlich sein, die aktive Fläche einer jeden reflektierenden SLM-Vorrichtung geringfügig zu vergrößern, um bezüglich längerer IR-Wellenlängen auszugleichen.

In Figur 4 ist ein allgemeiner Aufbau eines SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt, der verwendet wird, um eine Probe in einer Transmissionsbetriebsart zu analysieren. Insbesondere ist eine ein breites Wellenlängenband überdeckende Lampe 400 dargestellt, die ein bekanntes Wellenlängenspektrum mit einer bekannten Intensität aussendet, welches durch die zu analysierende Probe 410 tritt. Solche Lampen 400 sind im Handel erhältlich und sind typischerweise Glühlampen, die ein spezielles Gas oder eine spezielle Gasmischung enthalten. Die von der Probe 410 ausgehende Strahlung wird daraufhin durch einen Eintrittsspalt 420 des SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung auf das Prisma 430 fokussiert, woraufhin sie in der vorhergehend beschriebenen Weise analysiert wird.

In Figur 5 ist ein allgemeiner Aufbau eines SLM-Spektrometers gemäß der vorliegenden Erfindung dargestellt, der verwendet wird, um eine Probe in einer Reflektionsbetriebsart zu analysieren. Insbesondere ist wiederum eine Lampe 500 dargestellt, die ein bekanntes breitbandiges Spektrum mit einer bekannten Intensität liefert, welches von einer Probe 510 reflektiert wird. Die von der Probe 510 reflektierte Strahlung wird daraufhin durch einen Eintrittsspalt 520 auf das SLM-Spektrometer gemäß der vorliegenden Erfindung fokussiert, wo sie wie vorhergehend beschrieben analysiert wird.

Viele weitere Änderungen und Modifikationen können von Fachleuten an den vorhergehend beschriebenen Geräten und

- 15 -

den vorhergehend beschriebenen Techniken vorgenommen werden, ohne vom in den Ansprüchen festgelegten Schutzzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Es sollte dementsprechend klar verstanden werden, daß die in der begleitenden Zeichnung dargestellten und in der vorhergehenden Beschreibung erwähnten Geräte ausschließlich der Erläuterung dienen und nicht als den Schutzzumfang der Erfindung einschränkend vorgesehen sind.

EP 0 548 830 (92121566.1-2213)

Patentansprüche

1. Spektrometer (6), enthaltend ein Zerlegungselement (44) zum spektralen Zerlegen der Strahlung einer Lichtquelle, einen räumlichen Lichtmodulator (46), der so positioniert ist, daß er wenigstens einen Teil des zerlegten Spektrums vom Zerlegungselement empfängt, sowie einen Detektor (50) zum Messen der Intensität der Energie bei einer durch den räumlichen Lichtmodulator (46) bestimmten Wellenlänge,
dadurch gekennzeichnet,
daß der räumliche Lichtmodulator eine Vorrichtung mit verformbaren Spiegeln ist.
2. Spektrometer nach Anspruch 1, weiter enthaltend einen Kollimator (42).
3. Spektrometer nach Anspruch 1 oder 2, weiter enthaltend einen Eintrittsspalt (40).
4. Spektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem der räumliche Lichtmodulator (46) das zerlegte Spektrum in wenigstens 512 Wellenlängenbänder einteilen kann.
5. Spektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter enthaltend eine Verarbeitungseinrichtung, bei welchem Zeilen des räumlichen Lichtmodulators durch die Verarbeitungseinrichtung (34) aktiviert oder deaktiviert werden können.
6. Spektrometer nach Anspruch 5, weiter enthaltend eine Digitalisierungseinrichtung (30), die das Ausgangssignal des Detektors empfängt und ein digitalisiertes Ausgangssignal für die Verarbeitungseinrichtung liefert, durch das die Verarbeitungseinrichtung die Zeilen des räumlichen Lichtmodulators in

-17-

Abhängigkeit vom digitalisierten Ausgangssignal aktivieren und deaktivieren kann.

7. Spektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiter enthaltend eine Fokussierungsvorrichtung (48), um die Strahlung vom räumlichen Lichtmodulator (46) auf eine mit dem Detektor zusammenfallende vorgewählte Brennebene zu richten.

8. Spektrometer nach Anspruch 7, bei welchem die Fokussierungsvorrichtung (48) einen Spiegel enthält.

9. Spektrometer nach Anspruch 7, bei welchem die Fokussierungsvorrichtung (48) eine Linse enthält.

10. Spektrometer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem das Zerlegungselement (44) ein Prisma enthält.

11. Verfahren zum Analysieren von Licht, enthaltend die Schritte: Beleuchten einer zu analysierenden Probe mit Licht, spektrales Zerlegen des Lichts von der Probe, Positionieren eines räumlichen Lichtmodulators (20, 46), um wenigstens einen Teil der ausgewählten Wellenlängenordnung des Spektrums zu empfangen, Modulieren des Teils der ausgewählten Wellenlängenordnung des Spektrums mit dem Modulator, um das gewünschte Frequenzband auf einen Detektor (28) zu richten, und Messen der Intensität der Energie in dem Frequenzband mit dem Detektor,

gekennzeichnet durch

die Verwendung einer Vorrichtung mit verformbaren Spiegeln als dem räumlichen Lichtmodulator.

12. Verfahren nach Anspruch 11, weiter enthaltend die Schritte:

a) Digitalisieren der gemessenen Intensität;

b) Empfangen der digitalisierten Intensität an einer Verarbeitungseinrichtung;

-18-

c) Analysieren der empfangenen digitalisierten Intensität;
und

d) Aktivieren und Deaktivieren von Zeilen des räumlichen
Lichtmodulators in Reaktion auf die Analyse.

EP 0 548 830 (92121566.1-2213)

- 19 -

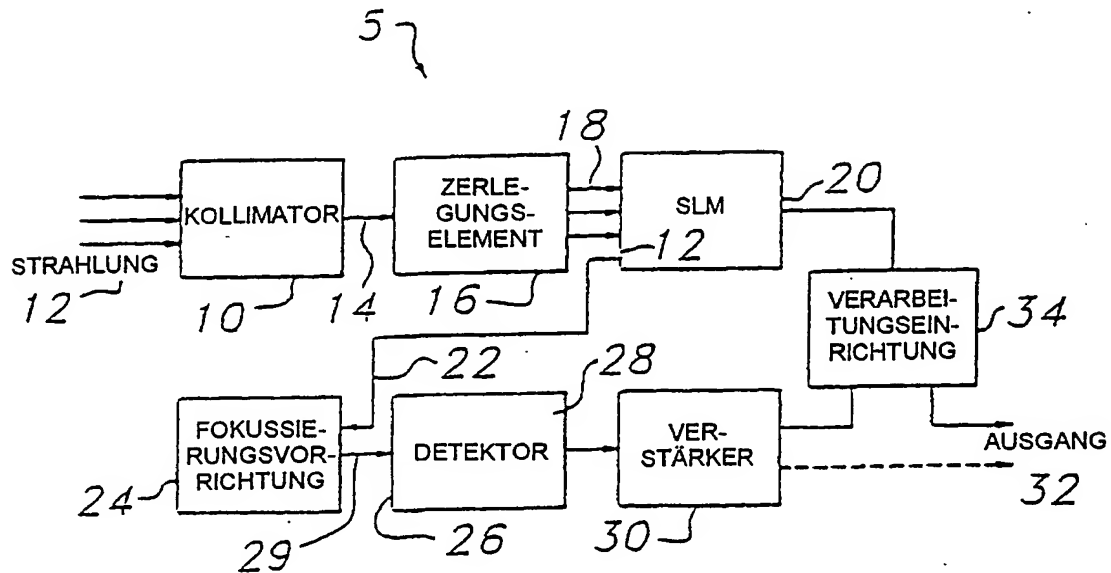


Fig. 1

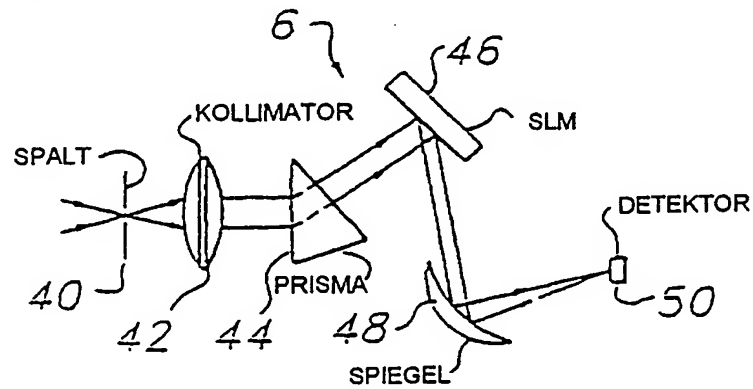


Fig. 2

- 20 -

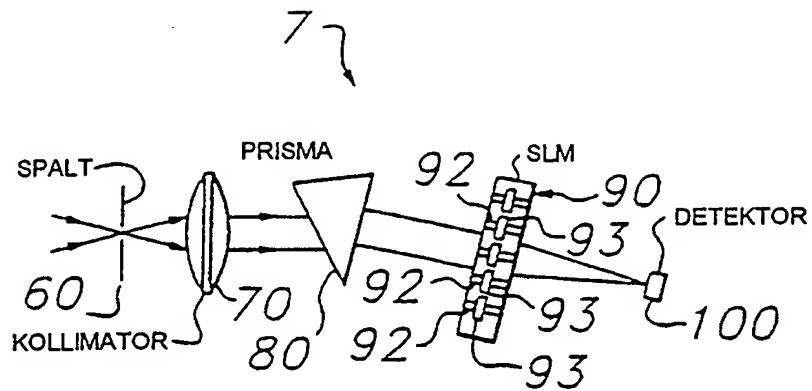


Fig. 3

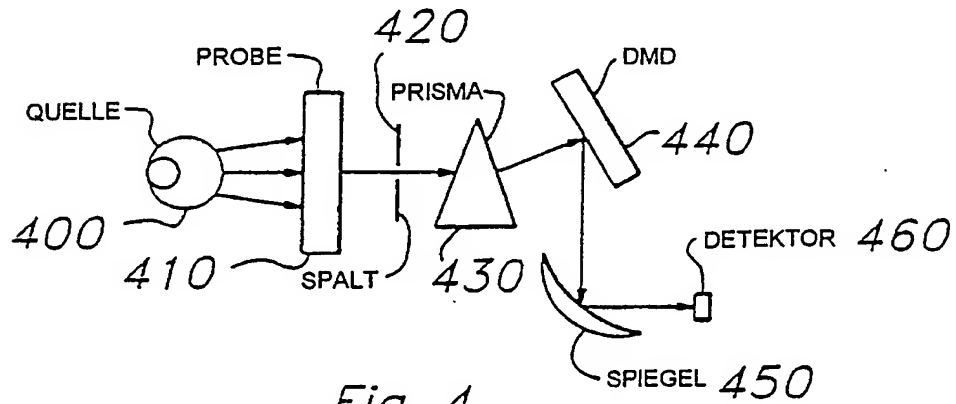


Fig. 4

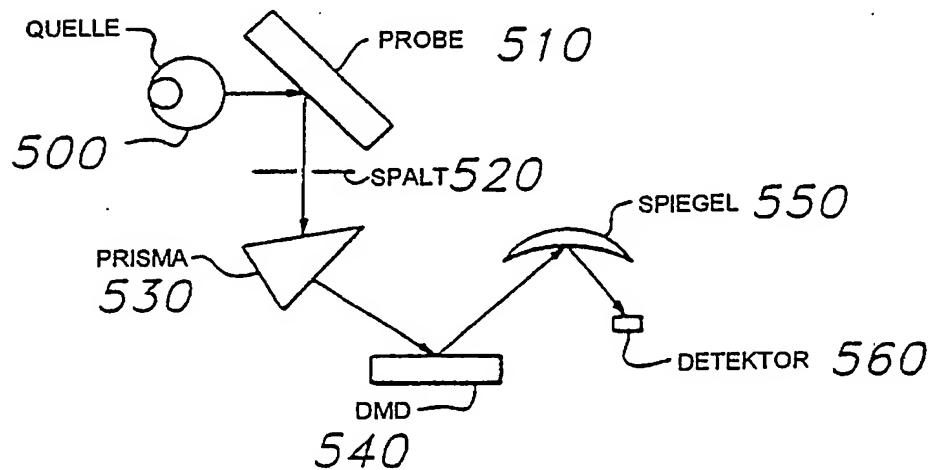


Fig. 5